

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ФИЛЬТРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ВОЗДУХООЧИСТИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ГПА

Шабаров А.Б.¹, Буравский В.В.¹, Белов М.С.¹, Куликов А.М.²

¹ФГБОУ ВО «Тюменский государственный университет», Тюмень, Россия (625000, Тюмень, ул. Володарского, 6), e-mail: zemenkov@tsogu.ru

²ФГБОУ ВО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», Тюмень, Россия (625000, Тюмень, ул. Володарского, 38), e-mail: zemenkov@tsogu.ru

В России создана разветвленная сеть магистральных газопроводов, для которой характерна высокая степень концентрации производственных мощностей в виде многониточных технологических коридоров и многоцеховых компрессорных станций. Эффективность работы магистрального газопровода во многом предопределяется решениями, принятыми на стадии проектирования и в процессе эксплуатации. С этой точки зрения актуальными являются вопросы оптимизации проектных параметров магистральных газопроводов и повышения эффективности работы основного газоперекачивающего оборудования КС. В данной статье представлен метод определения технического состояния фильтрующих элементов воздухоочистительных устройств газоперекачивающих агрегатов, основанный на определении расхода воздуха через газотурбинный двигатель по измеренным термогазодинамическим параметрам. Применение данного метода в условиях эксплуатации позволяет дистанционно определять техническое состояние системы очистки воздуха работающего газоперекачивающего агрегата.

Ключевые слова: транспорт природного газа, газоперекачивающий агрегат, техническое состояние, фильтрующий элемент, диагностика газоперекачивающего агрегата.

WAY OF DEFINITION OF TECHNICAL CONDITION OF THE FILTERING ELEMENTS OF AIR-CLEANING DEVICES OF GAS-DISTRIBUTING UNITS

¹Shabarov A.B., ¹Buravsky V.V., ¹Belov M.S., ²Kulikov A.M.

¹FGBO of higher education "Tyumen State University, Tyumen, Russia, (625000, Tyumen, Volodarskogo street, 6), e-mail: zemenkov@tsogu.ru

²FGBO of higher education "Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia, (625000, Tyumen, Volodarskogo street, 38), e-mail: zemenkov@tsogu.ru

In Russia the extensive network of the main gas pipelines for which high degree of concentration of capacities in the form of multistrand technological corridors and multishop compressor stations is characteristic is created. Overall performance of the main gas pipeline is in many respects predetermined by the decisions made at a design stage and in use. From this point of view questions of optimization of design parameters of the main gas pipelines and increase of overall performance of the capital gas-distributing equipment of KS are actual. In work the method of definition of technical condition of the filtering elements of air-cleaning devices of gas-distributing units based on definition of a consumption of air via the gas-turbine engine in the measured thermogasdynamic parameters is presented. Application of this method under operating conditions allows to define remotely technical conditions of system of purification of air of the working gas-distributing unit.

Keywords: the transport of natural gas, the gas-distributing unit, technical condition filtering an element, diagnostics of the gas-distributing unit.

Основными элементами МГ являются: линейная часть, компрессорные станции (КС), газораспределительные станции (ГРС), пункты измерения расхода. При необходимости в состав МГ могут входить станции охлаждения газа (СОГ).

Линейная часть представлена одной или несколькими (до 6) нитками с максимальным диаметром 1420 мм каждая. В случае многониточных газопроводов между нитками сооружаются перемычки через 40÷60 км и на входе и выходе каждой КС. В сложных

условиях перемычки сооружаются у каждого линейного крана. Линейные краны устанавливаются через 20÷30 км. Перемычка выполняется из труб диаметром не менее 0,7 меньшего из диаметров соединяемых ниток. При соединении ниток, имеющих различное рабочее давление, перемычки помимо крановых узлов оборудуются узлами редуцирования. Эксплуатируемые в настоящее время газопроводы имеют рабочее давление 5,4 и 7,35 МПа и степень сжатия 1,45÷1,50. Длина участка между КС при этом составляет 100÷150 км. В конец газопровода газ поступает с давлением 1,5÷2 МПа. По пути газ выдается потребителям через газораспределительные станции[10].

В нашей стране наиболее эффективным способом транспортировки природного газа был и остается трубопроводный транспорт[10]. Наряду с освоением новых месторождений увеличивается и протяженность магистральных газопроводов. В свою очередь бесперебойная перекачка природного газа невозможна без надежной и эффективной работы газоперекачивающих агрегатов.

Современные газоперекачивающие агрегаты (ГПА) являются сложными техническими объектами, надежность и производительность которых зависит не только от работы основных узлов агрегата, но и от работы технологических систем: смазки, управления, топливопитания, очистки циклового воздуха [6]. Так, в процессе наработки техническое состояние фильтрующих элементов воздухоочистительных устройств ухудшается, в результате влияния различных факторов, зависящих от районов эксплуатации.

Большинство ГПА, устанавливаемых в настоящее время на КС магистральных газопроводов, выполнены по простейшей термодинамической схеме и включают в себя [10]:

- ✓ входное устройство (ВУ);
- ✓ осевой компрессор (ОК);
- ✓ камеру сгорания (КС);
- ✓ турбину высокого давления (ТВД);
- ✓ силовую турбину низкого давления (ТНД);
- ✓ выходной диффузор (ВД);
- ✓ центробежный нагнетатель природного газа (ЦБН).

Принципиальная схема простейшей ГТУ с разрезным валом и обозначения характерных параметров термодинамического цикла приведены на рис 5.7. Схема цикла в T-S координатах изображена на рис. 1, [10].

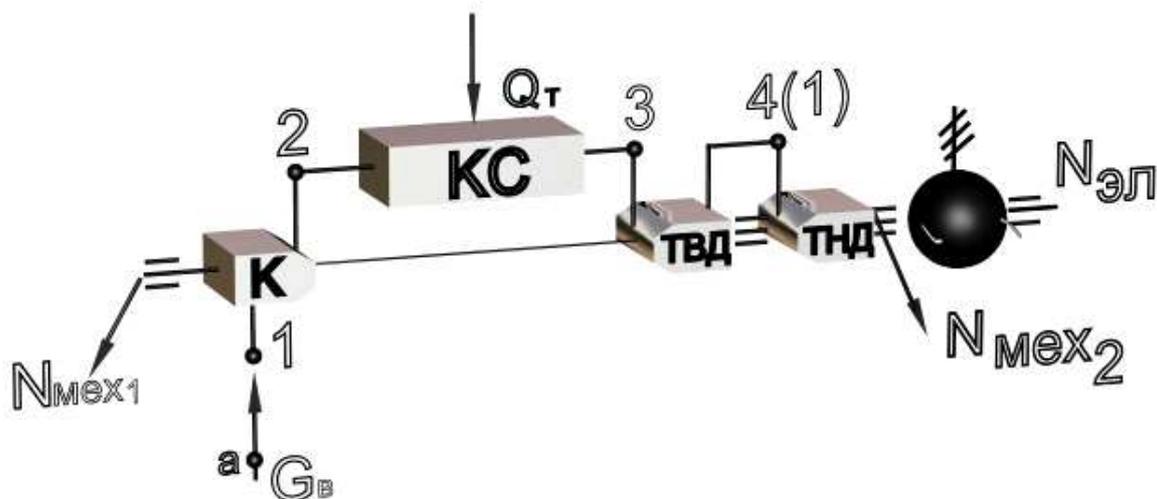


Рис. 1. Принципиальная схема простейшей ГТУ

Ухудшение технического состояния фильтрующих элементов приводит к увеличению разрежения на входе в ГТД, влияющего на газодинамическую устойчивость турбокомпрессора. В свою очередь, замена фильтрующих элементов производится по наработке, реже по достижению предельного перепада давления на фильтре. При этом зачастую производится замена фильтрующих элементов имеющий достаточный для дальнейшей эксплуатации остаточный ресурс, либо длительная наработка находящимся в критическом состоянии КВОУ.

С другой стороны, в условиях эксплуатации районов крайнего севера основным фактором снижения пропускной способности в зимний период являются обмерзания или забивания фильтров снегом, вследствие чего возможен аварийный останов агрегата. Учитывая выше сказанное, разработка способов определения технического состояния воздушных фильтров является актуальной задачей.

Вопросом изучения поузловой (дифференциальной) диагностики ГПА посвящен ряд работ [3,4]. Однако в этих работах отсутствуют методики определения технического состояния фильтрующих элементов. В данной работе рассматривается способ определения технического состояния воздушных фильтрующих элементов, основанный на измерении перепада статического давления воздуха непосредственно на самом фильтре. Фактически измеренная величина перепада не обеспечивает возможность определения истинного технического состояния фильтрующих элементов, поскольку одно и то же значение перепада на фильтре может наблюдаться как на чистом фильтре (т.1), так и на загрязненном (т.2) (рис. 2).

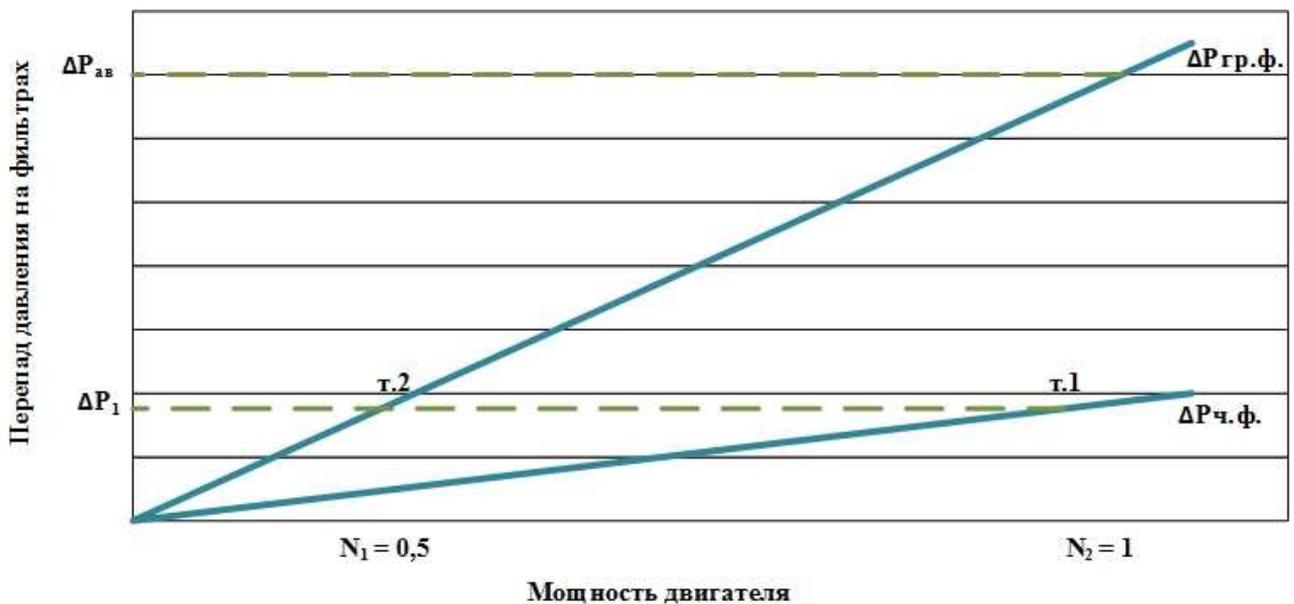


Рис. 2. Зависимость перепада давления на фильтре от мощности двигателя.
 где $\Delta P_{гр.ф.}$ - кривая перепада давления на загрязненном фильтре,
 $\Delta P_{ч.ф.}$ - кривая перепада давления на чистом фильтре

Так, при фактическом перепаде давления на фильтрах ΔP_1 на режиме работы ГТД N_1 в результате увеличения режима работы до N_2 будет достигнута аварийная уставка, т.е. максимально фиксированное значение ΔP , установленное заводом-изготовителем. В связи с этим объективную оценку состояния фильтрующих элементов необходимо производить не по перепаду давления на самом фильтре, а по коэффициенту технического состояния, определенного отношением перепада давления на чистом и загрязненном фильтрующем элементах при заданном режиме работы ГТД.

Так как перепад на фильтрующих элементах напрямую зависит от скорости движения воздуха через фильтр, т.е. от расхода фильтруемого воздуха, то оценку технического состояния фильтрующих элементов необходимо производить в зависимости от расхода воздуха через ГТД. В этом случае коэффициент технического состояния фильтрующего элемента определяется как отношение перепада давления на чистом фильтре к перепаду на загрязненном при одном и том же расходе воздуха (1).

$$K_{тс} = \frac{\Delta P_{чф}}{\Delta P_{гр}} G_B(1)$$

Заводом-изготовителем устанавливаются фиксированные значения предупредительной уставки $\Delta P_{пр}$ и аварийной $\Delta P_{ав}$. При достижении $\Delta P = \Delta P_{пр}$ срабатывает предупредительная сигнализация, если $\Delta P = \Delta P_{ав}$ не исключён аварийный останов агрегата. Величина $K_{тс}$, соответствующая аварийно-загрязненному фильтру, определяется как соотношение перепада давления на чистом фильтре к перепаду на аварийно-загрязненном,

при расходе воздуха, соответствующему номинальному режиму работы ГТД. Аналогичным образом определяется $K_{тс_{ав}}$

$$K_{тс_{ав}} = \frac{\Delta P_{чф}}{\Delta P_{ав}} G_B \quad (2)$$

Определив коэффициент технического состояния, соответствующий аварийно-загрязнённому состоянию, и приняв за единицу значение коэффициента чистого фильтра был определен диапазон значений коэффициента технического состояния для оптимальной работы ГПА.

$$K_{тс_{ав}} < K_{тс_{пр}} \leq K_{тс} \leq 1 \quad (3)$$

Для апробации данного метода объектом исследования был выбран газоперекачивающий агрегат ГПА-25ДУ "Урал" с газотурбинным двигателем ДУ80Л1. В качестве фильтрующих элементов воздухоочистительного устройства газоперекачивающего агрегата используется комбинированная система фильтрации (КСФ) фирмы "EMW".

В свою очередь КСФ состоит из влагоотделителя, предфильтра и непосредственно фильтра тонкой очистки. Контроль за перепадом давления на КСФ осуществляется дифференциальный датчиком перепада "Метран" [6].

В ходе эксперимента производились измерения следующих параметров: замер перепада на фильтре ВОУ, расход топливного газа " $Q_{тг}$ ", температура входа в ЦБН " $T_{цбн_{вх}}$ ", температура выхода из ЦБН " $T_{цбн_{вых}}$ ", температура перед ТНД " $T_{тнд}$ ", расход газа через ЦБН " $G_{цбн}$ ", потери энергии на подшипниках " $\eta_{мех}$ ", скорость продуктов сгорания внутри газоотвода " v_2 ", расход воздуха на утечки " $K_{ут}$ ", температура продуктов сгорания " $T_{ст}$ ". Так как для определения температуры продуктов сгорания на срезе выхлопного патрубка стационарных термопар ГПА не имеет, замеры производились переносным термометром.

Измерения производились на следующих режимах работы ГТД: "Пуск", "Холостой ход"(ХХ), переходный режим "Холостой ход - НАРР", "НАРР", "Магистраль (0,9 $N_{ном}$)" (МГ), "Магистраль (0,95 $N_{ном}$)", "Магистраль (1,0 $N_{ном}$). Для расчета расхода воздуха через ГТД на каждом режиме работы использовалась формула(8), выведенная из уравнения баланса мощностей.

$$N_{ст} \times \eta_{мех} = N_{цбн} \quad (4)$$

где $N_{ст}$ - мощность ГТД (силовой турбины), кВт;

$\eta_{мех}$ - потери энергии на подшипниках, $кг\ м^2/с^2$;

$N_{цбн}$ – мощность, затрачиваемая на привод нагнетателя, кВт.

$$N_{ст} = G_{пс} \times G_{рст} \times (T_{вх}^{ст} - T_{вых}^{ст}) \times \eta_{мех} \quad (5)$$

$$N_{цбн} = G_{цбн} \times G_{Pцбн} \times (T_{вх}^{цбн} - T_{вых}^{цбн}) \quad (6)$$

$$G_{пс} \times G_{Pст} \times (T_{вх}^{ст} - T_{вых}^{ст}) \times \eta_{мех} = G_{цбн} \times G_{Pцбн} \times (T_{вх}^{цбн} - T_{вых}^{цбн}) \quad (7)$$

$$G_{в} = \frac{1}{1 - K_{ут}} \times \frac{G_{цбн} \times G_{Pцбн} \times (T_{вх}^{цбн} - T_{вых}^{цбн})}{G_{Pст} \times (T_{вх}^{ст} - T_{вых}^{ст}) \times \eta_{мех}} - G_{т} \quad (8)$$

Для проверки достоверности данной формулы был произведен расчет расхода воздуха на номинальном режиме работы:

$$G_{в} = \frac{1}{1 - 0,01} \times \frac{589 \times 1,0137 \times (327,1 - 287,9)}{1,09 \times (938 - 690,93) \times 0,995} - 1,3 = 86,7 \approx 87 \text{ кг/с}$$

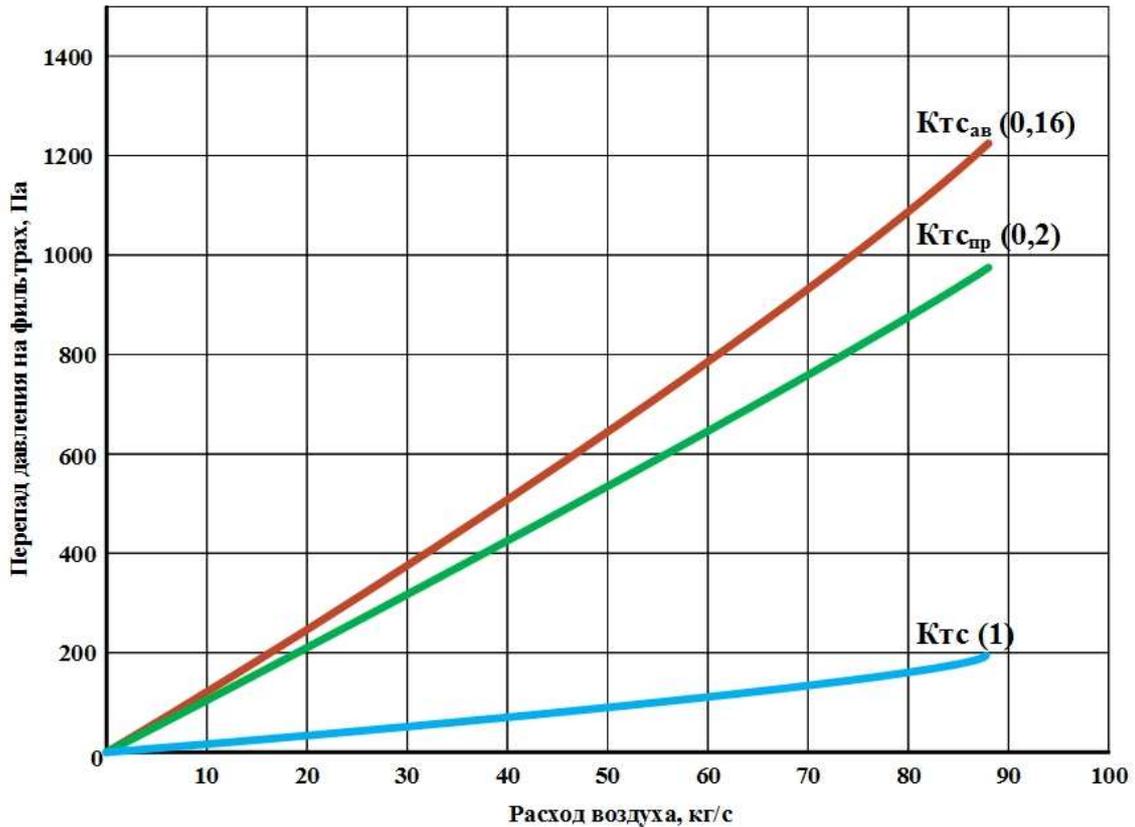


Рис.3. Зависимость перепада давления на фильтре от расхода воздуха через ГТД

На номинальном режиме работы расход воздуха составил 87 кг/с, что соответствует значению установленному заводом-изготовителем [8]. На основании полученных данных построена графическая зависимость ΔP на фильтрующем элементе от расхода воздуха, соответствующему чистому фильтру. С учетом $\Delta P_{пр}$, $\Delta P_{ав}$, установленных заводом изготовителем, определены $K_{тсав}$, $K_{тспр}$ (рис.3).

Изменение коэффициента технического состояния является функцией времени наработки и засоряющих факторов. В связи с этим планируется сбор данных для построения графической зависимости, которая позволит отследить изменение коэффициента

технического состояния во времени, определить остаточный ресурс фильтрующих элементов, запланировать работы по замене фильтрующих элементов.

Недостатки: данный метод определения КТС не учитывает степень фильтрации, что является его недостатком.

Выводы:

1. На основании натуральных экспериментальных данных по двигателю ДУ80Л1 на компрессорной станции установлена зависимость потерь давления на фильтрах от расхода воздуха через ГТД;
2. Предлагаемый метод позволяет достоверно определить коэффициент технического состояния фильтрующих элементов на любом режиме работы, не прибегая к визуальному осмотру;
3. Данный метод дает возможность верно определять диапазон значений коэффициента технического состояния фильтрующих элементов для оптимальной работы ГПА;
4. В результате достоверного определения коэффициента технического состояния фильтрующего элемента возможен переход от плановой замены к замене по техническому состоянию;
5. Благодаря предлагаемой методике, возможен уход от аварийных ситуаций.

Список литературы

1. Антипов В.Н., Земенков Ю.Д., Шабаров А.Б. и др. Техническая и параметрическая диагностика в трубопроводных системах. Тюмень: Вектор Бук, 2002.- с. 432.
2. Белов М.С., Шабаров А.Б. Расчетно-теоретическое исследование термогазодинамических параметров. Тюмень, СИТИ-ПРЕСС, 2010 г.
3. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: “Разработка методов поузлового диагностирования стационарных газотурбинных газоперекачивающих агрегатов”, Юламанов Э.Ф. Москва 2007 г.
4. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: “Термогазодинамическая диагностика трехвальных приводных газотурбинных двигателей”, Белов М.С. Тюмень 2010 г.
5. Земенкова М.Ю., Шабаров А.Б., Бабичев Д.А. Алгоритм реализации опережающей стратегии контроля и управления надежностью нефтегазовых предприятий// Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. - 2007. № 3. - с. 103-108.

6. Руководство по эксплуатации агрегата газоперекачивающего ГПА-25ДУ “УРАЛ”, ООО “Искра-Турбогаз”.
7. Теория и проектирование газотурбинных и комбинированных установок: Учебник для вузов Ю.С. Елисеев, Э.А. Манушин, В.Е. Михальцев и др. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. - 640 с.
8. Технические условия “Двигатели газотурбинные ДУ 80” ТУ У29.1-31821381.020:2005.
9. Торопов С.Ю., Торопов В.С. Методика предсказания надежности нефтегазотранспортного оборудования//Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1997. -№ 6. -С. 135.
10. Эксплуатация магистральных газопроводов: Учебное пособие. Под общей редакцией Ю.Д. Земенкова. - ТюмГНГУ, 2002. - 525 с.

Рецензенты:

Кусков В.Н., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г.Тюмень;

Торопов С.Ю., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г.Тюмень.